

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Zvonimir Matić

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Antun Galović, dipl. ing.

Student:

Zvonimir Matić

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svome mentoru, prof. dr. sc. Antunu Galoviću za svu pruženu pomoć prilikom pisanja ovog rada, dr.sc. Nenadu Ferdeljiju, te svojoj obitelji i prijateljima za podršku i razumijevanje tijekom dosadašnjeg studiranja.

Zvonimir Matić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Zvonimir Matić**

Mat. br.:0023066684

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Dizalica topline u sustavu podnog grijanja**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Heat Pump in the Underfloor Heating System**

Opis zadatka:

Stambenom objektu koji se sastoji od više stanova potrebno je u zimskim uvjetima, za potrebe grijanja, osiguravati 100 kW, na način da temperatura vode u polaznomvodu bude 50 °C a u povratnomvodu 42 °C. Taj se toplinski tok namiče s kompresorskom dizalicom topline i sa R134a kao radnom tvari. Isparivač topline smješten je:

- u okolišnji vanjski zrak temperature 5 °C, i njemu se temperatura prolaskom kroz križni izmjenjivač topline promijeni za 15 °C;
- u jezero u kojem je konstantna temperatura mirujuće vode 10 °C, isparivač je s horizontalnim i vertikalnim smještajem cijevi u jezeru.

Tlak radne tvari u isparivaču odabrati tako da je temperatura isparivanja za slučaj a) – 15 °C, a u slučaju b) 0 °C, dok je temperatura zasićenja u kondenzatoru 55 °C, a nastali se kondenzat još i pothlađuje za 5 °C, a u kompresor ulazi para koja je za 5 °C viša od pripadajuće temperature zasićenja.

Za zadane uvjete potrebno je:

- odrediti karakteristične točke radne tvari u procesima te procese prikazati u T,s – dijagramu. Odrediti potrebne snage kompresora kao i faktore grijanja;
- odrediti potrebne površine isparivača (za oba slučaja) na način da se prijenos topline s vanjske površine cijevi na vodu u jezeru odvija slobodnom konvekcijom. Kondenzator, kao i sam priključak za podno grijanje, kao i promjere cijevi isparivača odabrati prema prospektima proizvođača;
- prikazati raspored temperatura radne tvari i toplinskih tokova u ovisnosti o lokalnoj površini isparivača;
- shematski prikazati dizalicu topline te predložiti priključnu instalaciju za podno grijanje.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualnu pomoć mentora!

Zadatak zadan:
25. studenog 2014.

Rok predaje rada:
1. rok: 26. veljače 2015.
2. rok: 17. rujna 2015.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 2., 3., i 4. ožujka 2015.
2. rok: 21., 22., i 23. rujna 2015.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Antun Galović

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	IX
SUMMARY	X
1. UVOD.....	1
2. DIZALICA TOPLINE.....	2
2.1. Način rada dizalica topline.....	4
2.1.1. Monovalentni način rada dizalice topline	4
2.1.2. Bivalentno-paralelni način rada dizalice topline.....	5
2.1.3. Bivalentno-alternativni način rada dizalice topline	5
2.2. Toplinski izvori za dizalice topline	6
2.2.1. Dizalice topline sa zrakom kao toplinskim izvorom.....	6
2.2.2. Dizalice topline sa vodom kao toplinskim izvorom	8
2.3. Kompresijske dizalice topline	9
2.4. Radne tvari u ljevokretnim procesima	9
3. DIZALICA TOPLINE U SUSTAVU PODNOG GRIJANJA	10
4. ZRAK KAO TOPLINSKI IZVOR ZA DIZALICU TOPLINE	12
4.1. Karakteristične točke radne tvari u procesu i određivanje potrebne snage kompresora.....	12
4.2. Faktor grijanja	16
4.3. Određivanje potrebne površine isparivača	16
4.3.1. Koeficijent prijelaza topline na strani zraka	18
4.3.2. Model prisilne konvekcije.....	19
4.3.3. Odabir kondenzatora	22
4.4. Prikaz rasporeda temperatura radne tvari, zraka kao slabije struje i toplinskih tokova u ovisnosti o lokalnoj površini isparivača.....	23
4.4.1. Radna tvar	23
4.4.2. Ogrjevnj medij (zrak).....	24
4.4.3. Ovisnost toplinskog toka o lokalnoj površini isparivača	25
5. VODA KAO TOPLINSKI IZVOR ZA DIZALICU TOPLINE	26
5.1. Karakteristične točke radne tvari u procesu i određivanje potrebne snage kompresora.....	26
5.2. Faktor grijanja	29
5.3. Određivanje potrebne površine isparivača kod njegovog vertikalnog smještaja	30
5.3.1. Određivanje koeficijenta prijelaza topline na strani vode.....	30
5.4. Određivanje potrebne površine isparivača kod njegovog horizontalnog smještaja ...	34
5.4.1. Određivanje koeficijenta prijelaza topline na strani vode.....	34

5.5. Prikaz rasporeda temperatura radne tvari i toplinskih tokova u ovisnosti o lokalnoj površini isparivača	38
5.5.1. Radna tvar	38
5.5.2. Ovisnost toplinskog toka o lokalnoj površini isparivača	39
6. ZAKLJUČAK.....	40
LITERATURA.....	41
PRILOZI.....	42

POPIS SLIKA

Slika 1. Shematski prikaz hladnjaka i dizalice topline [1]	2
Slika 2. Načelo rada ljevokretnog procesa [2]	3
Slika 3. Monovalentni način rada dizalice topline [3]	4
Slika 4. Bivalentno paralelni rad dizalice topline [3]	5
Slika 5. Bivalentno alternativni način rada dizalice topline [3]	6
Slika 6. Dizalica topline sa zrakom kao toplinskim spremnikom [3]	7
Slika 7. Dizalica topline sa površinskom vodom kao izvorom topline [5]	8
Slika 8. Načelna shema dizalice topline te prikaz toplinskih tokova	10
Slika 9. Prikaz procesa u T,s - dijagramu	11
Slika 10. Prikaz temperaturne promjene struja u ovisnosti o površini isparivača.....	17
Slika 11. Nastrujavanje tekućine okomito na snop cijevi	19
Slika 12. Odabir kondenzatora od proizvođača[8]	22
Slika 13. Ovisnost temperature radne tvari o lokalnoj površini isparivača.....	23
Slika 14. Ovisnost temperature zraka o lokalnoj površini isparivača	24
Slika 15. Ovisnost toplinskog toka o lokalnoj površini isparivača	25
Slika 16. Prikaz temperaturne promjene struja u ovisnosti o površini isparivača.....	33
Slika 17. Prikaz temperaturne promjene struja u ovisnosti o površini isparivača.....	37
Slika 18. Ovisnost temperature radne tvari o lokalnoj površini isparivača.....	38
Slika 19. Ovisnost toplinskog toka o lokalnoj površini isparivača	39

POPIS TABLICA

Tablica 1. Odabrani ventilator [7]	18
--	----

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

CRTEŽ 1. Shema dizalice topline s priključnom instalacijom za podno grijanje

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
Φ_{gr}	W	Projektni toplinski tok
$\Theta_{w,pov}$	°C	Temperatura vode u povratnom vodu
$\Theta_{w,pol}$	°C	Temperatura vode u polaznom vodu
R134a	-	Oznaka za radnu tvar
$\Delta\Theta_{pot}$	°C	Promjena temperature radne tvari kod pothlađivanja
$\Delta\Theta_{pr}$	°C	Promjena temperature radne tvari kod pregrijavanja
Θ_{zr}	°C	Temperatura zraka
Θ_w	°C	Temperatura vode
$\Delta\Theta_{zr}$	°C	Promjena temperature zraka
Θ_{is}	°C	Temperatura isparavanja
Θ_{ko}	°C	Temperatura kondenzacije
Θ_m	°C	<i>Srednja temperatura</i>
$\Delta\Theta_1$	°C	Promjena temperature slabije struje
Θ_1'	°C	Ulazna temperatura slabije struje
Θ_1''	°C	Izlazna temperatura slabije struje
Θ_2'	°C	Ulazna temperatura jače struje
Θ_2''	°C	Izlazna temperatura jače struje
C_1	W/K	Strujni toplinski kapacitet slabije struje
C_2	W/K	Strujni toplinski kapacitet jače struje
$\Pi_1; \Pi_2$	-	Bezdimenzijske značajke isparivača
Pr	-	Prandtlova značajka
Pe	-	Pecletova značajka
Nu	-	Nusseltova značajka
Gr	-	Grashofova značajka
ζ	-	Korekcijski faktor
π	-	Ludolfov broj
q_{m*}	kg/s	Maseni protok radne tvari kod adijabatske kompresije
η_{iz}	-	Izentropski stupanj djelovanja kod kompresije
P_k	W	Snaga kompresora
β_H	-	Faktor grijanja
A_i	m ²	Istrujna površina ventilatora
D_i	m	Istrujni promjer ventilatora
$w_{o,zr}$	m/s	Brzina neporemećene struje zraka
n	-	Broj cijevi u redu

z	-	Broj redova cijevi
R_v	m	Vanjski polumjer cijevi
R_u	m	Unutarnji polumjer cijevi
d_v	m	Vanjski promjer cijevi
α_{zr}	W/(m ² K)	Koeficijent prijelaza topline na strani zraka
α_w	W/(m ² K)	Koeficijent prijelaza topline na strani vode
α_{rt}	W/(m ² K)	Koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari
λ_{zr}	W/(mK)	Toplinska provodnost zraka
λ_w	W/(mK)	Toplinska provodnost vode
λ_c	W/(mK)	Toplinska provodnost cijevi
K_v	W/(m ² K)	Koeficijent prolaza topline sveden na vanjsku površinu cijevi
A_{ov}	m ²	Ukupna vanjska površina isparivača
x	-	Sadržaj pare
A_v	m ²	Varijabilna vanjska površina isparivača
L	m	Duljina jednog prolaza cijevi kod vertikalnog smještaja isparivača
Φ	W	Toplinski tok
\dot{H}	W	Entalpija masenog protoka
P	W	Snaga otvorenog sustava
Θ	°C	Celzijeva temperatura
p	bar	Apsolutni tlak
v	m ³ /kg	Specifični volumen
h	J/kg	Specifična entalpija
s	J/(kgK)	Specifična entropija
ν	m ² /s	Kinematička viskoznost
η	Pa s	Dinamička viskoznost
a	m ² /s	Temperaturna provodnost
ρ	kg/m ³	Gustoća tvari
$q_{v,zr}$	m ³ /kg	Volumenski protok zraka

Napomena :

- Indeksi : 1, 2, 2*, 3, 4,5, 6 odgovaraju točkama u T,s - dijagramu
- Indeksi sa apostrofom : ' , " označavaju stanja vrele kapljevine i suhozasićene pare radne tvari
- Indeks : s – odnosi se na fizikalna svojstva pri temperaturi vanjske površine cijevi
- Indeks : o – odnosi se na fizikalna svojstva medija (voda / zrak) podalje o cijevi

SAŽETAK

U ovom radu je bilo potrebno napraviti termodinamički proračun kompresijske dizalice topline, koja treba osiguravati potreban toplinski tok za grijanje stambenog objekta.

Proračun je napravljen za dva slučaja. U prvom je slučaju isparivač smješten u okolišnji vanjski zrak, a u drugom se slučaju isparivač nalazi u vodi konstantne temperature. I za jedan i za drugi slučaj određena je snaga kompresora, faktor grijanja, potrebna površina isparivača te je prikazan način odabira kondenzatora.

U radu je dan i dijagramski prikaz temperatura radne tvari i toplinskih tokova u ovisnosti o lokalnoj površini isparivača.

S obzirom da se kao sustav grijanja stambenog objekta koristi sustav podnog grijanja, na kraju je shematski prikazana dizalica topline s priključnom instalacijom za podno grijanje.

Ključne riječi: Dizalica topline, izmjena topline, podno grijanje

SUMMARY

In this paper it was necessary to make a thermodynamic calculation of compression heat pump, which should ensure the required heat flow for heating the residential building.

The calculation was made for two cases. In the first case, the evaporator was located in the ambient outside air, and in the second case the evaporator was placed in the constant temperature water. For both cases were determined power of compressor, heating factor, required surface area of the evaporator and the method for choosing the condenser type.

The paper presents a diagrammatic view of the refrigerant temperature and heat flows as a function of the local surface area of evaporator.

Since the heating system residential building uses is floor heating, in the end is schematically shown heat pump with terminal installation for floor heating.

Keywords : heat pump , heat exchange , floor heating

1. UVOD

U današnje vrijeme ekonomske krize, ključna je stvar znati upravljati prirodnim resursima, prvenstveno zbog toga što svjetska populacija raste, a time i potrošnja energije. Prema zakonu ponude i potražnje cijena fosilnih gorivaposljednjih godina ubrzano raste, pa se time javlja potreba za alternativnim izvorima energije, odnosno obnovljivim izvorima energije. Upravo zbog toga što fosilna goriva imaju ograničene zalihe isto prilikom njihova izgaranja dolazi do oslobađanja velike količine CO₂, čime se onečišćuje okoliš, primjena obnovljivih izvora energije postala je imperativ u današnjem svijetu.

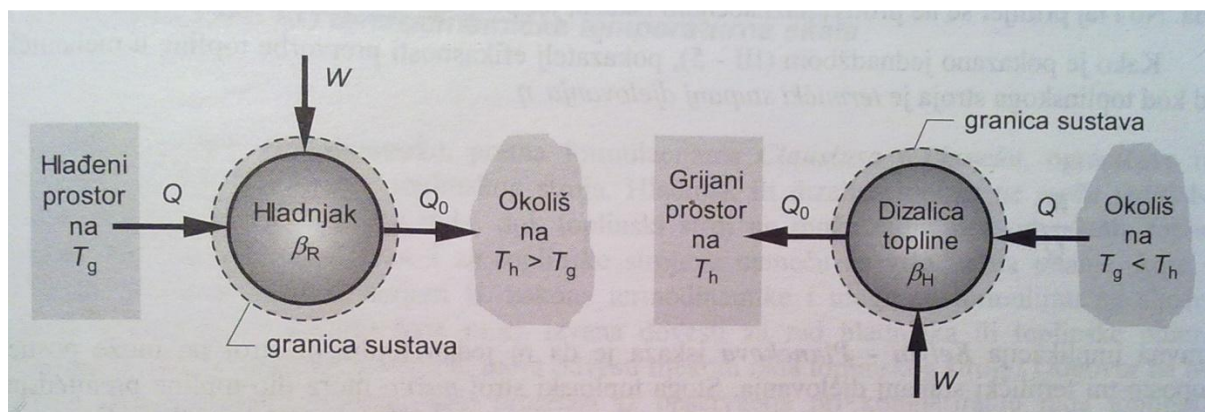
Ovi argumenti govore u prilog primjene dizalice topline kao posebnoučinkovitom rješenju za korištenje toplinske energije kojom se štedi na pogonskim troškovima, a uz to radi posebno ekološki prihvatljivo.

Dizalice topline su uređaji koji posreduju u prijenosu topline između dvaju toplinskih spremnika, odnosno omogućuju prijenos topline s niže na višu temperaturnu razinu pomoću ljevokretnog kružnog procesa te time služe za dobivanje ogrjevnog odnosno rashladnog učina.

2. DIZALICA TOPLINE

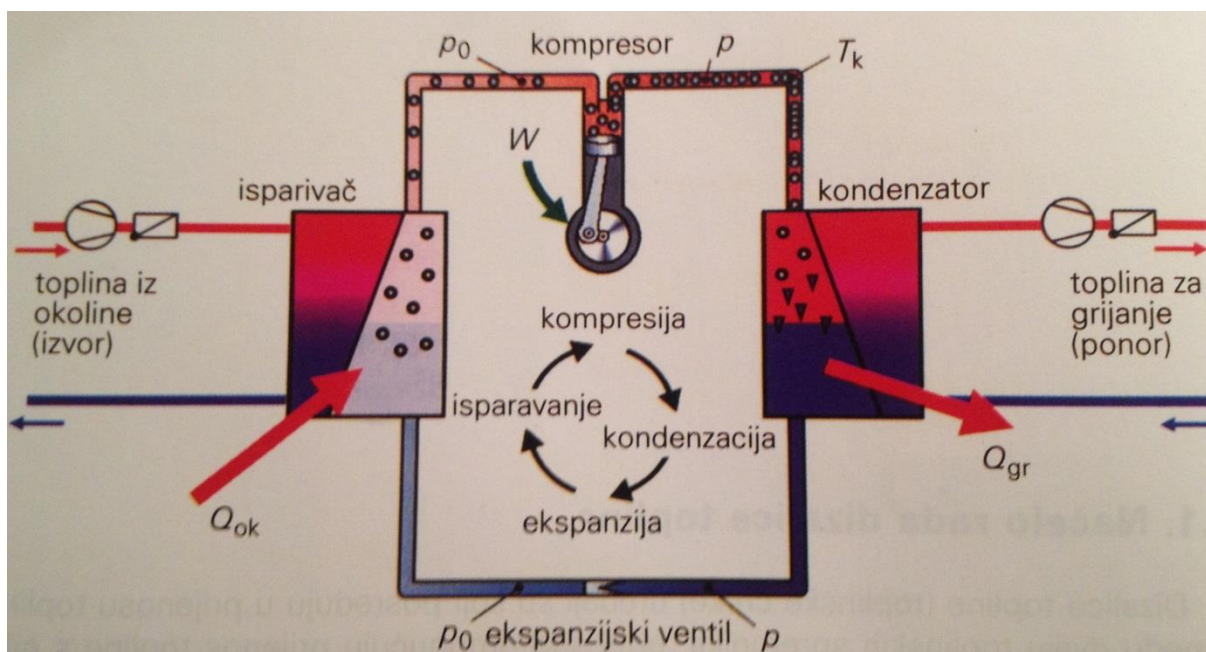
Svima dobro poznati intuitivni prirodni zakon, a koji je također potvrđen kroz bezbrojna zapažanja, govori nam da topline uvijek prelazi s tijela (sustava) više temperature na tijelo (sustav) niže temperature. Tijekom razvoja kroz povijest ljude je oduvijek zanimalo na koji način postići da se izmjena topline odvija u suprotnom smjeru – s tijela niže na tijelo više temperature. Na temelju svojih zapažanja prvi odgovor na spomenuti zahtjev dao je 1850. godine Clausius. On formira svoj izraz II. zakona termodinamike; koji govori da nije moguće konstruirati bilo kakav uređaj koji bi radio ciklički, predajući toplinu od tijela niže temperature na tijelo više temperature, a da pri tome nema nikakvog utjecaja na okoliš. To bi značilo da moramo dovesti neki rad izvana. Uređaji koji rade po kružnom procesu i pri tome prenose toplinu s niže na višu temperaturu nazivamo hladnjaci i dizalice topline; ovisno na koji način iskorištavamo toplinu kondenzacije. U slučaju da ti uređaji nemaju uključen kompresor, njihov rad bi se protivio II. zakonu termodinamike i to bi bio perpetuum mobile druge vrste.

Već ranije je spomenuo da su hladnjaci i dizalice topline zapravo isti uređaji, ali je osnovna namjena svakog od njih bitno različita. Hladnjak se koristi za održavanje temperature hladionice i robe u njoj ispod temperature okoliša, dok se dizalica topline koristi za održavanje temperature grijanog prostora iznad temperature okoliša i za pokrivanje toplinskih gubitaka. Kod jednog i kod drugog rad se mora dovoditi i to je bitno za odvijanje procesa. [1]



Slika 1. Shematski prikaz hladnjaka i dizalice topline [1]

Rad dizalice topline se temelji na ljevokretnom kružnom procesu s odgovarajućom radnom tvari. Pri tome u isparivaču dolazi do izmjene topline s odgovarajućim okolnim medijem gdje pod nižim tlakom i temperaturom radna tvar apsorbira toplinsku energiju iz okoliša koju kompresor podiže na viši nivo temperature. U kondenzatoru dolazi do izmjene topline u kojem je radna tvar predaje ogrjevnom mediju sustava grijanja i pripremi potrošne tople vode. Nakon toga se u ekspanzijskom ventilu smanjuje tlak i radna tvar ponovno dolazi u isparivač čime je kružni proces zatvoren.



Slika 2. Načelo rada ljevokretnog procesa [2]

Danas se izraz dizalica topline koristi kada se toplina kondenzacije korisno upotrebljava za grijanje prostorija ili PTV. [2]

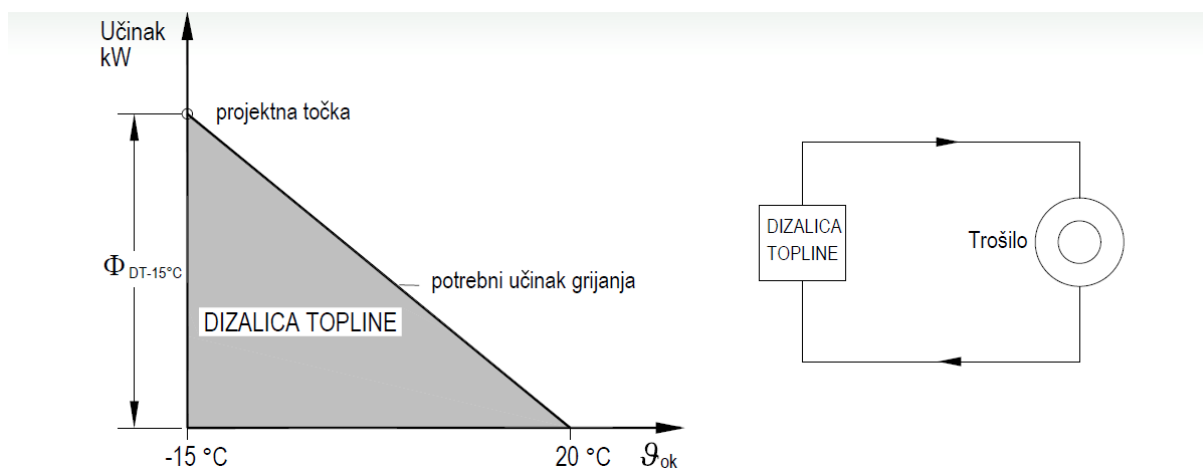
2.1. Način rada dizalica topline

Sustavi grijanja s dizalicom topline mogu biti izvedeni tako da dizalica topline bude jedini izvor topline. Također, dizalica topline može se koristiti u sprezi s drugim izvorima topline. Razlikujemo sljedeće načine rada dizalice topline:

- a) Monovalentni način rada
- b) Bivalentno-paralelni način rada
- c) Bivalentno-alternativni način rada.

2.1.1. Monovalentni način rada dizalice topline

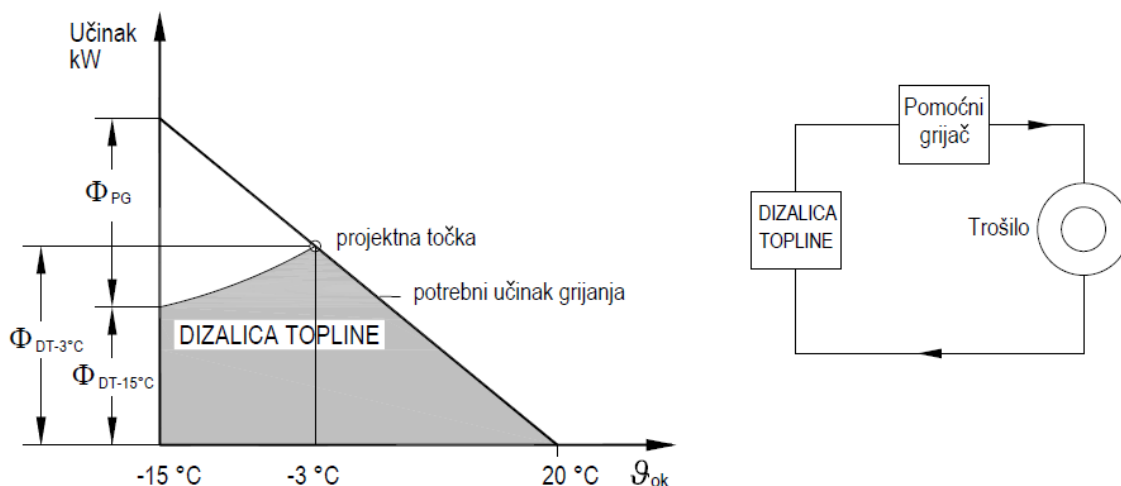
Sve toplinske gubitke zgrade (toplinsko opterećenje) koji se proračunavaju prema normi HRN EN 12831 pokriva isključivo dizalica topline. Učinek dizalica topline projektira se prema vanjskoj projektnoj temperaturi zraka. Dizalice topline povezane s tlom (s podzemnom vodom ili tlom kao izvorima topline) rade kao monovalentni sustavi grijanja. [3]



Slika 3. Monovalentni način rada dizalice topline [3]

2.1.2. Bivalentno-paralelni način rada dizalice topline

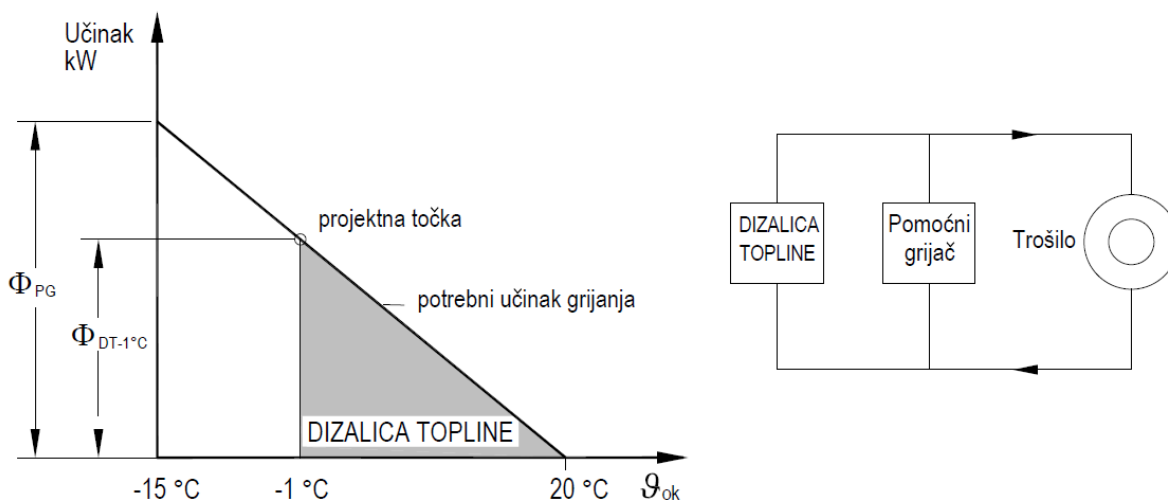
Do određene vrijednosti vanjske temperature zraka dizalica topline je jedini izvor topline. Daljnjim padom vanjske temperature zraka (npr. -3°C ili niže) uključuje se paralelno još jedan toplinski izvor (npr. plinski bojler). Priključenje drugog toplinskog izvora, regulacija vodi prema vanjskoj temperaturi zraka i potrebnom učinku grijanja. Ovaj način rada sustava grijanja koristi se većinom kod dizalica topline sa zrakom kao izvorom topline. [3]



Slika 4. Bivalentno paralelni rad dizalice topline [3]

2.1.3. Bivalentno-alternativni način rada dizalice topline

Do određene vrijednosti vanjske temperature zraka dizalica topline je jedini izvor topline, koja ovisno o karakteristici grijanja odgovara maksimalnoj temperaturi polaznog voda od 55°C . Daljnjim padom vanjske temperature zraka uključuje se drugi izvor topline i on je dalje jedini u radu (npr. plinski bojler). Točka preokretanja izbora sustava grijanja u ovom primjeru iznosi -1°C . Ovaj način rada sustava grijanja koristi se za zgrade s radijatorima kao ogrjevnim tijelima, temperaturnog režima $90/70^{\circ}\text{C}$ ili $80/60^{\circ}\text{C}$. [3]



Slika 5. Bivalentno alternativni način rada dizalice topline [3]

2.2. Toplinski izvori za dizalice topline

Toplinski izvori trebaju zadovoljiti neke kriterije da bi ih mogli kvalitetno eksploatirati. Trebaju osigurati potrebnu količinu topline u bilo koje doba dana i pri što većoj temperaturi, utrošena energija potrebna za prijenos topline od izvora do isparivača treba biti što niža, a troškovi priključenja izvora na dizalicu topline također što niži.

Toplinski izvori dizalice topline mogu biti: zrak, voda ili tlo.

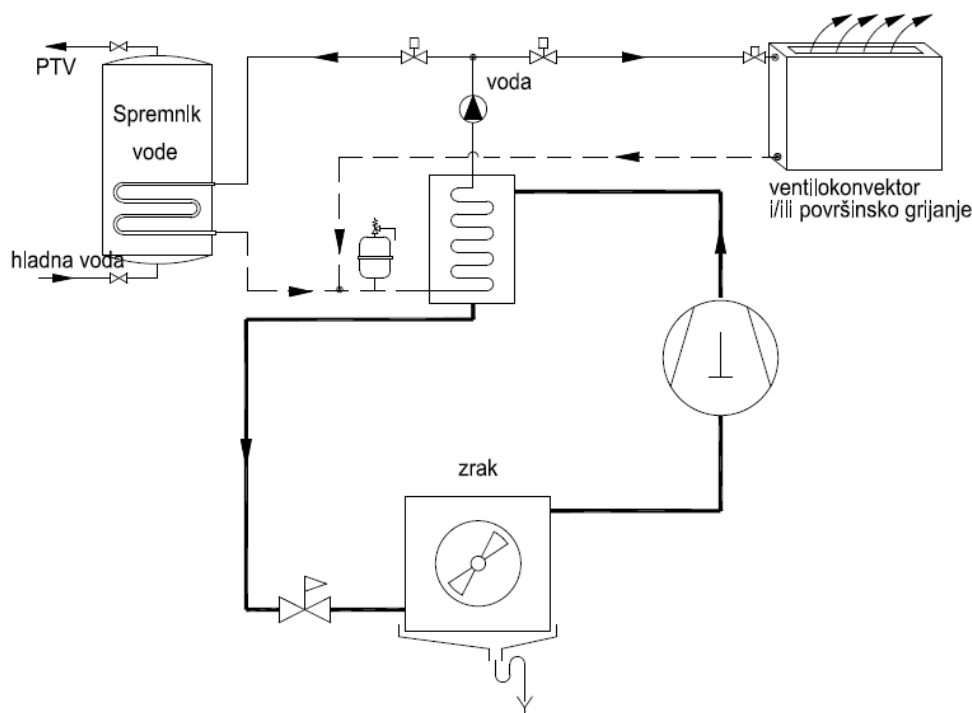
2.2.1. Dizalice topline sa zrakom kao toplinskim izvorom

Dizalice topline uglavnom se koriste za grijanje vode i zraka. Zagrijavanje vode, uz zrak kao toplinski izvor, može biti zbog raznih kućanskih potreba ili zbog zagrijavanja bazena. To su tzv. »zrak – voda« dizalice topline. Potrebe za zagrijavanjem zraka se javljaju u zimskom periodu za vrijeme sezone grijanja prostora unutar kuća, tvornica, zgrada itd. Ova vrsta dizalice topline također koristi zrak kao izvor topline i zovemo ih »zrak – zrak« dizalice

topline. Njihova značajka je široka rasprostranjenost zbog jednostavnosti priključenja na sustav grijanja i zbog pristupačnosti toplinskog izvora što je svakako jedna od glavnih prednosti.

Problemi koji se javljaju su različito vrijeme pojave maksimalne temperature zraka i potrebe neke prostorije za grijanjem. Kad je temperatura vanjskog zraka najniža, potreba za grijanjem je najveća i obrnuto. Druga vrsta problema koja se javlja je zaleđivanje isparivača. Naime, vanjski zrak oko 0°C sadrži znatnu količinu vlage. Naslage leda na isparivaču smanjuju koeficijent prolaza topline i samim time otežavaju rad sustava. Kad se na isparivaču stvori led, treba prekinuti pogon dizalice topline i trošiti energiju za odleđivanje. Ukupna potrošnja topline za odleđivanje iznosi oko 5-10% energije utošene godišnje za pogon kompresora dizalice topline. Kao još jedan od ograničavajućih faktora u primjeni je buka.

Optimalan volumenski protok zraka za pogon dizalice topline je u granicama od 300 do 500 m³/h za 1kW ogrjevnog učinka. [4]

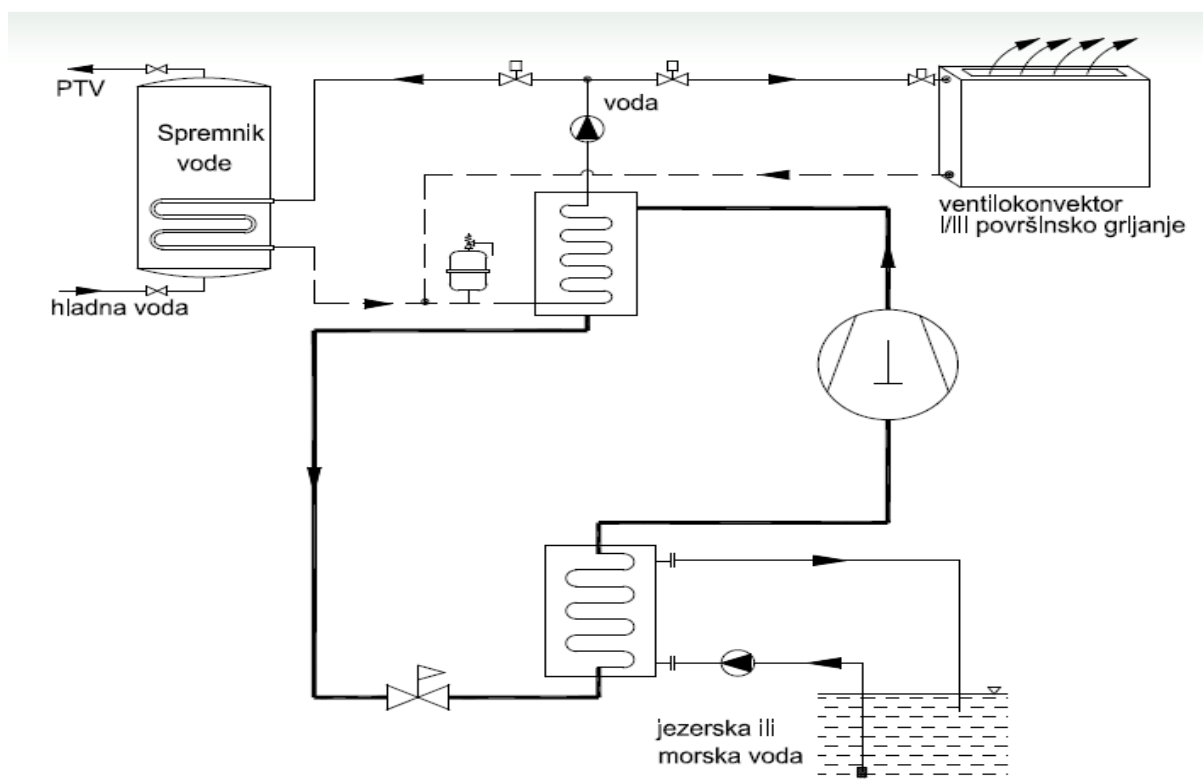


Slika 6. Dizalica topline sa zrakom kao toplinskim spremnikom [3]

2.2.2. Dizalice topline s vodom kao toplinskim izvorom

Voda se isto koristi kao izvor topline. Prednost ovih sustava je što voda ima približno konstantnu temperaturu na određenoj dubini. Sustavi mogu biti izvedeni kao direktni (uz predhodno filtriranje vode) - voda se izravno dovodi na isparivač ili se isparivač smješta u bušotine(bunare) – podzemna voda ili u jezera, rijeke – površinska voda. Temperatura podzemne vode iznosi, ovisno o dubini i geografskoj lokaciji, 10 - 14°C. Podzemna voda se crpi iz bušotina (bunara) – crpne bušotine, te se ohlađena vraća preko upojne bušotine natrag nizvodno u podzemni vodotok ili se odvodi u kanalizaciju. Prednost ovih sustava je niska cijena, a nedostatak sakupljanje biljnih i životinjskih organizama na izmjenjivačkim površinama što zahtjeva redovito čišćenje i održavanje.

Zbog mogućeg prisutnog onečišćenja, pogonskog održavanja i sigurnosti koriste se indirektni sustavi. Dodaje se još jedan sekundarni optočni krug i dodatni izmjenjivač topline. Prednost je što nema opasnosti od zagađenja vode, jer se voda vraća u bušotinu (bunar) nepromijenjenog kemijsko – biološkog sastava. Nedostatak je ograničena rasprostranjenost vodnih resursa i viša cijena izvedbe u odnosu na direktne sustave. [4]



Slika 7. Dizalica topline sa površinskom vodom kao izvorom topline [5]

2.3. Kompresijske dizalice topline

Kompresijske dizalice topline za povišenje energijske razine (temperature i tlaka) radne tvari, odnosno za omogućavanje kružnog procesa koriste mehanički rad kompresora. Sastoje se od sljedećih osnovnih dijelova: isparivača, kompresora, kondenzatora i ekspanzijskog ventila. Uz spojne vodove koji povezuju ta četiri osnovna dijela, imaju regulacijske i pomoćne elemente te radnu tvar. Način rada indentičan je običnim hladnjacima, samo sa različitom svrhom (grijanje umjesto hlađenje). Radna tvar koja u isparivaču preuzima toplinu iz toplinskog izvora (spremnika niže temperature razine), dovodi se u kompresor u kojem joj se povisuje tlak i temperaturu te potom uvodi u kondenzator u kojemu predaje toplinu toplinskom ponoru (spremniku više temperature razine), nakon toga radna tvar ulazi u ekspanzijski ventil i potom ponovno u isparivač čime je zatvoren kružni proces.

Od svih izvedbi, kompresijske dizalice topline su najviše usavršene i zbog toga se najviše koriste.

2.4. Radne tvari u ljevokretnim procesima

Zahtjevi koji se postavljaju na RT su: niska temperatura isparivanja pri atmosferskom tlaku, ne previsok tlak kondenzacije, mali specifični volumen pri temperaturi isparivanja, velika latentna toplota isparivanja i kondenzacije, nekorozivnost, fizikalna i kemijska stabilnost (tokom radnog vijeka uređaja), neotrovnost i nezapaljivost.

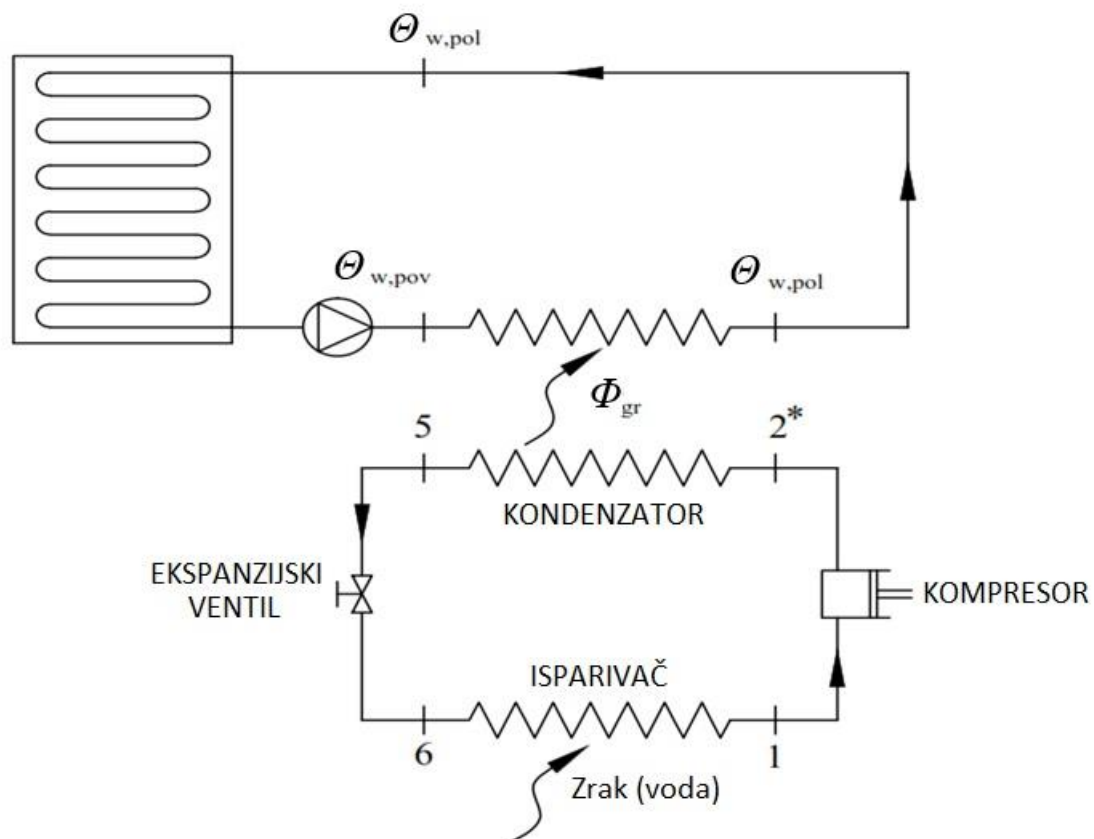
Prema porijeklu dijelimo ih na anorganske: amonijak, zrak, ugljični dioksid, voda; te na organske: ugljikovodici, halogenirani derivati metana i etana. Halogenirani ugljikovodici se dijele na: klorofluorouglijke – CFC (R11, R12, R502...); klorofluorouglikovodike – HCFC (R22) i fluorirane ugljikovodike – HFC (R404a, R407C, R410A, R134a). R11, R12... su štetni za ozonski omotač i stoga su Montrealskim sporazumom iz 1987. zabranjeni za daljnju uporabu. U Republici Hrvatskoj se taj sporazum počeo primjenjivati od 2000. godine. Manje štetna tvar je HCFC, iako se i ona sve manje koristi. Ekološki prihvatljiva radna tvar je HFC koja nema nikakvog utjecaja na ozon. Za dizalice topline se najčešće koriste sljedeće radne tvari: R404A, R407C, R410A i R134a. [6]

3. DIZALICA TOPLINE U SUSTAVU PODNOG GRIJANJA

Ulazni podaci :

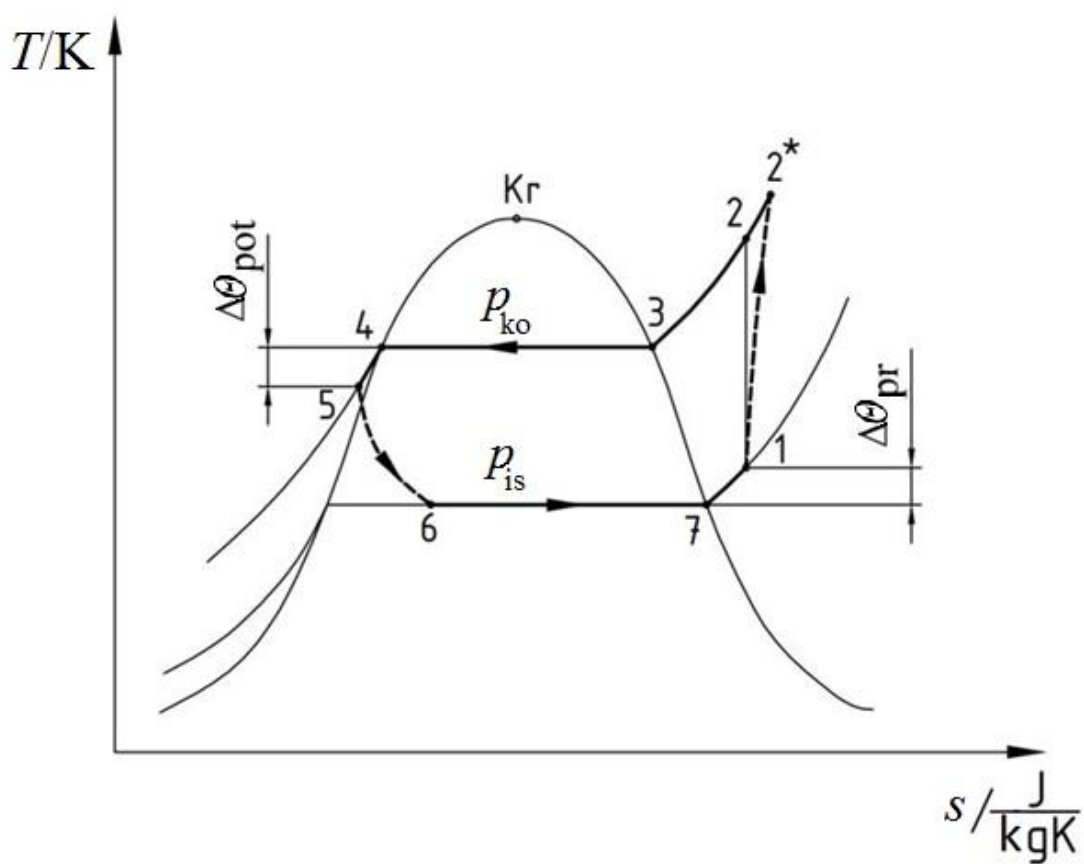
- $\Phi_{gr}=100 \text{ kW}$
- $\theta_{w,pol}=50 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\theta_{w,pov}=42 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- R134a

Načelna shema dizalice topline te prikaz toplinskih tokova :



Slika 8. Načelna shema dizalice topline te prikaz toplinskih tokova

Prikaz procesa u T,s - dijagramu :



Slika 9. Prikaz procesa u T,s - dijagramu

4. ZRAK KAO TOPLINSKI IZVOR ZA DIZALICU TOPLINE

Ulazni podaci :

- $\theta_{\text{zr}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Delta\theta_{\text{zr}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\theta_{\text{is}} = -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\theta_{\text{ko}} = 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Delta\theta_{\text{pot}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Delta\theta_{\text{pr}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

4.1. Karakteristične točke radne tvari u procesu i određivanje potrebne snage kompresora

Relevantne veličine stanja u karakterističnim točkama procesa uzete su iz [9]

Točka 1 :

$$\theta_1 = -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p_1 = 1,6394 \text{ bar}$$

$$v_1 = 0,1236 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_1 = 393,80 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = 1,7531 \text{ kJ/(kgK)}$$

Točka 2 :

$$\theta_2 = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p_2 = 14,9151 \text{ bar}$$

$$v_2 = 0,01477 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_2 = 443,54 \text{ kJ/kg}$$

$$s_2 = 1,7531 \text{ kJ/(kgK)}$$

Točka 5 :

$$\theta_5 = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p_5 = 14,9151 \text{ bar}$$

$$v_5 = 0,000906 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_5 = 271,55 \text{ kJ/kg}$$

$$s_5 = 1,2367 \text{ kJ/(kgK)}$$

Točka 6 :

$$\Phi_{5-6} = \dot{H}_6 - \dot{H}_5 + P_{5-6}$$

$$\dot{H}_6 = \dot{H}_5 / : q_m$$

$$h_6 = h_5 = 271,55 \text{ kJ/kg}$$

$$\theta_6 = -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p_6 = 1,6395 \text{ bar}$$

$$h_6 = h' + x_6 (h'' - h')$$

$$x_6 = \frac{h_6 - h'}{h'' - h'} = 180,14 \text{ kJ/kg}$$

$$h'' = 389,63 \text{ kJ/kg}$$

$$x_6 = \frac{271,55 - 180,14}{389,63 - 180,14}$$

$$x_6 = 0,4363$$

$$v_6 = v' + x_6 (v'' - v')$$

$$v' = 0,0007447 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v'' = 0,12067 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_6 = 0,0007447 + 0,4363(0,12067 - 0,0007447)$$

$$v_6 = 0,0531 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$s_6 = s' + x_6 (s'' - s')$$

$$s' = 0,9256 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$s'' = 1,7371 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$s_6 = 0,9256 + 0,4363(1,7371 - 0,9256)$$

$$s_6 = 1,279 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

Točka 2*

$$\Phi_{2-5} = q_m (h_2 - h_5)$$

- Iz gornje jednadžbe slijedi maseni protok radne tvari :

$$q_m = \frac{\Phi_{2-5}}{h_2 - h_5} = \frac{\Phi_{gr}}{h_2 - h_5}$$

$$q_m = \frac{100}{443,54 - 271,55}$$

$$q_m = 0,5814 \text{ kg/s}$$

- Izentropska snaga kompresora P_{1-2} je dana izrazom :

$$P_{1-2} = q_m (h_2 - h_1)$$

$$P_{1-2} = 0,581429(443,54 - 393,80)$$

$$P_{1-2} = 28,92 \text{ kW}$$

- Da bi se odredilo snagu kompresora, pretpostavljen je izentropski stupanj djelovanja ($\eta_{iz} = 0,85$) koji je definiran kao :

$$\eta_{iz} = \frac{P_{1-2}}{P_{1-2}^*}$$

- Iz gornjeg izraza se dobiva stvarnu snagu kompresora :

$$P_{1-2}^* = \frac{P_{1-2}}{\eta_{iz}}$$

$$P_{1-2}^* = \frac{28,92}{0,85}$$

$$P_{1-2}^* = P_k = 34,02 \text{ kW}$$

$$\Phi_{2-5} = q_m^* (h_2^* - h_5)$$

$$P_{1-2}^* = q_m^* (h_2^* - h_1)$$

- Kombinacijom prethodnih jednadžbi slijedi vrijednost specifične entalpije R134a nakon adijabatske kompresije :

$$h_2^* = \frac{\Phi_{2-5} \cdot h_1 - P_{1-2}^* \cdot h_5}{\Phi_{2-5} - P_{1-2}^*}$$

$$h_2^* = \frac{100 \cdot 393,80 - 34,02 \cdot 271,55}{100 - 34,02}$$

$$h_2^* = 456,83 \text{ kJ/kg}$$

- Stvarni maseni protok radne tvari :

$$q_m^* = \frac{\Phi_{2-5}}{h_2^* - h_5}$$

$$q_m^* = \frac{100}{456,841 - 271,55}$$

$$q_m^* = 0,5397 \text{ kg/s}$$

$$p_2^* = 14,9151 \text{ bar}$$

$$\theta_2^* = 81,617 \text{ °C}$$

$$v_2^* = 0,01586 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$s_2^* = 1,7979 \text{ kJ/kg}$$

4.2. Faktor grijanja

$$\beta_H = \frac{\Phi_{gr}}{P_{1-2*}}$$

$$\beta_H = \frac{100}{34,02}$$

$$\beta_H = 2,939$$

4.3. Određivanje potrebne površine isparivača

$$\Phi_{6-1} = q_m^* (h_1^* - h_6)$$

$$\Phi_{6-1} = 0,53971 (393,80 - 271,55)$$

$$\Phi_{6-1} = 65,98 \text{ kW}$$

$$\Phi_{6-1} = C_1 \cdot \Delta \theta_1$$

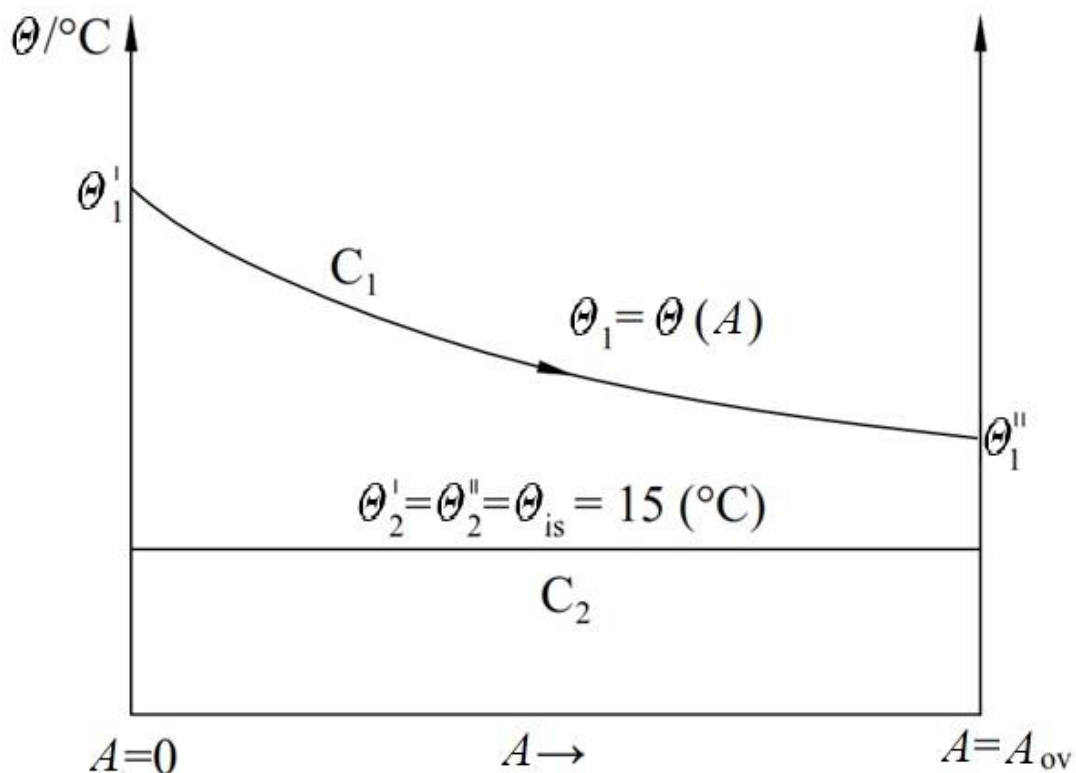
$$\Delta \theta_1 = \Delta \theta_{zr} = 15 \text{ °C}$$

$$C_1 = \frac{\Phi_{6-1}}{\Delta \theta_1}$$

$$C_1 = \frac{65,98}{15}$$

$$C_1 = 4398,6 \text{ W/K}$$

Tijek temperature zraka i R134a u ovisnosti o površini isparivača prikazuje slika 10.



Slika 10. Prikaz temperaturne promjene struja u ovisnosti o površini isparivača

$$\Pi_1 = \frac{\theta_1' - \theta_1''}{\theta_1' - \theta_{is}}$$

$$\Pi_1 = \frac{5 - (-10)}{5 - (-15)}$$

$$\Pi_1 = 0,75$$

$$\Pi_2 = -\ln(1 - \Pi_1)$$

$$\Pi_2 = -\ln(1 - 0,75)$$

$$\Pi_2 = 1,3863$$

4.3.1. Koeficijent prijelaza topline na strani zraka

U modelu za izračun koeficijenta prijelaza topline na strani zraka potrebno je odabrati brzinu strujanja zraka. S obzirom na to odabran je ventilator koji daje tu brzinu strujanja.

Tablica 1. Odabrani ventilator [7]

	Tip	Istrujni promjer	Dimenzije	Volumnenski protok	Elektromotor			Razina buke	Težina
					Snaga	Broj okretaja	Napon		
Mjerne jedinice	-	mm	mm	m ³ /h	W	min ⁻¹	V	dB	kg
	LAZ 315	315	380x380x115	1440	46	1200	230	56	5

$$A_i = \frac{D^2 \pi}{4}$$

$$A_i = \frac{(315 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A_i = 0,0779 \text{ m}^2$$

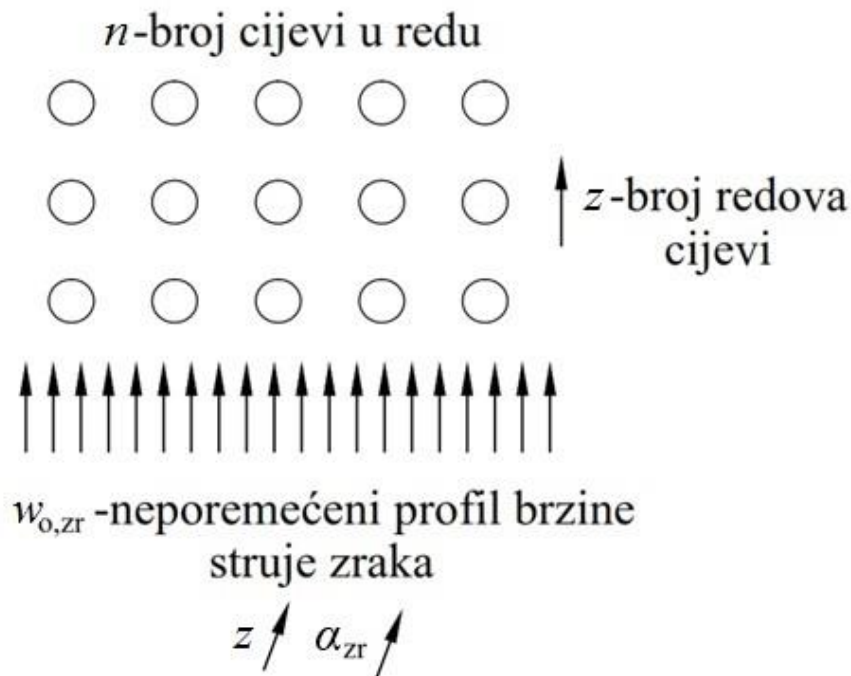
$$q_{v,zr} = w_{0,zr} \cdot A_i$$

$$w_{0,zr} = \frac{q_{v,zr}}{A_i}$$

$$w_{0,zr} = \frac{0,5}{0,077931}$$

$$w_{0,zr} = 5,13 \text{ m/s}$$

4.3.2. Model prisilne konvekcije



Slika 11. Nastrujavanje tekućine okomito na snop cijevi

Cijevni snop je sastavljen od cijevi vanjskog promjera d_v (m), postavljenih u z redova u smjeru strujanja, sa po n cijevi u svakom redu. Koeficijent prijelaza topline raste s brojem redova cijevi z u smjeru strujanja zraka, jer se pri opstrujavanju cijevi zrak sve jače zavrtloži, tako da je na svakoj sljedećoj cijevi izmjena topline sve bolja. Broj cijevi n u jednom redu (brojeno okomito na smjer strujanja) ne utječe na koeficijent prijelaza topline, nego samo povećava površinu za izmjenu topline.

$$\theta_m = \frac{\theta_s + \theta_{zr}}{2}$$

$$\theta_m = \frac{-15^\circ + 5^\circ}{2}$$

$$\theta_m = -5^\circ \text{C}$$

- Sva fizikalna svojstva zraka, očitana su za temperaturu θ_m :

$$\rho = 1,2965 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 16,9845 \cdot 10^{-6} \text{ Pa s}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\nu = \frac{16,9845 \cdot 10^{-6}}{1,2965}$$

$$\nu = 1,31 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$a = \frac{\nu}{Pr}$$

$$a = \frac{1,3100269 \cdot 10^{-5}}{0,71}$$

-samo za dvoatomne plinove (zrak) : $Pr = 0,71$

$$a = 1,8451 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pe = \frac{w_{o,zr} \cdot d_v}{a}$$

Odabrane cijevi :

$C_u \phi 20 \times 1$

$d_v = 20 \text{ mm}$

$$Pe = \frac{5,1327 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{1,8451084 \cdot 10^{-5}}$$

$$Pe = 5563,575$$

$$Nu = \xi \cdot 0,075 \cdot Pe^{0,75}$$

-za : $z = 10$; $\xi = 1,47$

$$Nu = 1,47 \cdot 0,075 \cdot 5563,575^{0,75}$$

$$Nu = 71,02$$

$$Nu = \frac{\alpha_{zr} \cdot d_v}{\lambda_{zr}}$$

$$\alpha_{zr} = \frac{Nu \cdot \lambda_{zr}}{d_v}$$

$$\alpha_{zr} = \frac{71,02 \cdot 23,681 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-3}}$$

$$\lambda_{zr} = 23,681 \cdot 10^{-3} \text{ W/(m K)}$$

$$\alpha_{zr} = 84,09 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

$$k_v = \frac{1}{\frac{R_v}{R_u \cdot \alpha_{rt}} + \frac{R_v}{\lambda_c} \cdot \ln \frac{R_v}{R_u} + \frac{1}{\alpha_{zr}}}$$

$$\frac{R_v}{R_u \cdot \alpha_{rt}} \approx 0$$

- S obzirom da je koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari znatno veći od onog na strani zraka, prilikom izračuna koeficijenta prolaza topline zanemaren je otpor prijelazu topline s unutanje strane cijevi, tj na strani radne tvari:

$$k_v = \frac{1}{\frac{R_v}{\lambda_c} \cdot \ln \frac{R_v}{R_u} + \frac{1}{\alpha_{zr}}}$$

$$R_v = 10 \text{ mm}$$

$$R_u = 9 \text{ mm}$$

$$\lambda_c = 372 \text{ W/(m K)}$$

$$k_v = \frac{1}{\frac{10 \cdot 10^{-3}}{372} \cdot \ln \frac{10}{9} + \frac{1}{84,09}}$$

$$k_v = 84,07 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

$$A_{ov} = \frac{\pi_2 \cdot C_1}{k_v}$$

$$A_{ov} = \frac{1,3863 \cdot 4,3986 \cdot 10^3}{84,07}$$

$$A_{ov} = 72,53 \text{ m}^2$$

4.3.3. Odabir kondenzatora

Kondenzator se odabire na temelju sljedećih parametara :

- Toplinski učinak kondenzatora: 100 kW
- Radna tvar : R134a
- Rashladni medij : voda
- Temperatura kondenzacije : 55 °C
- Ulazna temperatura slabije struje (voda) : 42 °C
- Temperatura pothlađenja : 5 °C

Na slici koja slijedi, prikazano je sučelje softvera pomoću kojeg je moguće odabrati kondenzator.

BITZER Software v6.4.2 rev1292

Water-cooled Condensers

Series: Standard

Refrigerant: R134a

Cooling agent: Water

Concentration in water: 0

Condenser selection

Condenser capacity: 100 kW

Condenser type: Standard

Passes no.: 2

Operating point

Condensing temperature: 55 °C

Water inlet temp.: 42 °C

Water outlet temp.: 31,0 °C

Operating conditions

Liq. subc. (in condenser): 5 K

Fouling factor: 0,00004 m²/kW

19.01.2015 13:33:14

Show Overview

K813H

Result Limits Technical Data Dimensions Information Documentation

Estimated calculation

Condenser type	K813H	K1053H	K1053H	K1353T
Passes no.	2	2	4	2
Condenser Capacity	100,4 kW	100,0 kW	100,0 kW	100,1 kW
Allowed max. capacity	157,1 kW	205 kW	161,3 kW	262 kW
Condensing SDT	55,0 °C	55,0 °C	55,0 °C	55,0 °C
Water outlet temp.	46,9 °C	51,3 °C	53,2 °C	53,4 °C
Volume flow	17,90 m ³ /h	9,34 m ³ /h	7,81 m ³ /h	7,65 m ³ /h
Vol. flow min.	4,54 m ³ /h	4,54 m ³ /h	2,27 m ³ /h	5,84 m ³ /h
Vol. flow max.	22,7 m ³ /h	22,7 m ³ /h	11,35 m ³ /h	29,2 m ³ /h
Flow rate	1,97 m/s	1,03 m/s	1,72 m/s	0,66 m/s
Pressure drop	0,19 bar	0,08 bar	0,36 bar	0,04 bar

© BITZER Imprint Privacy Policy Germany English SI Options

Slika 12. Odabir kondenzatora od proizvođača[8]

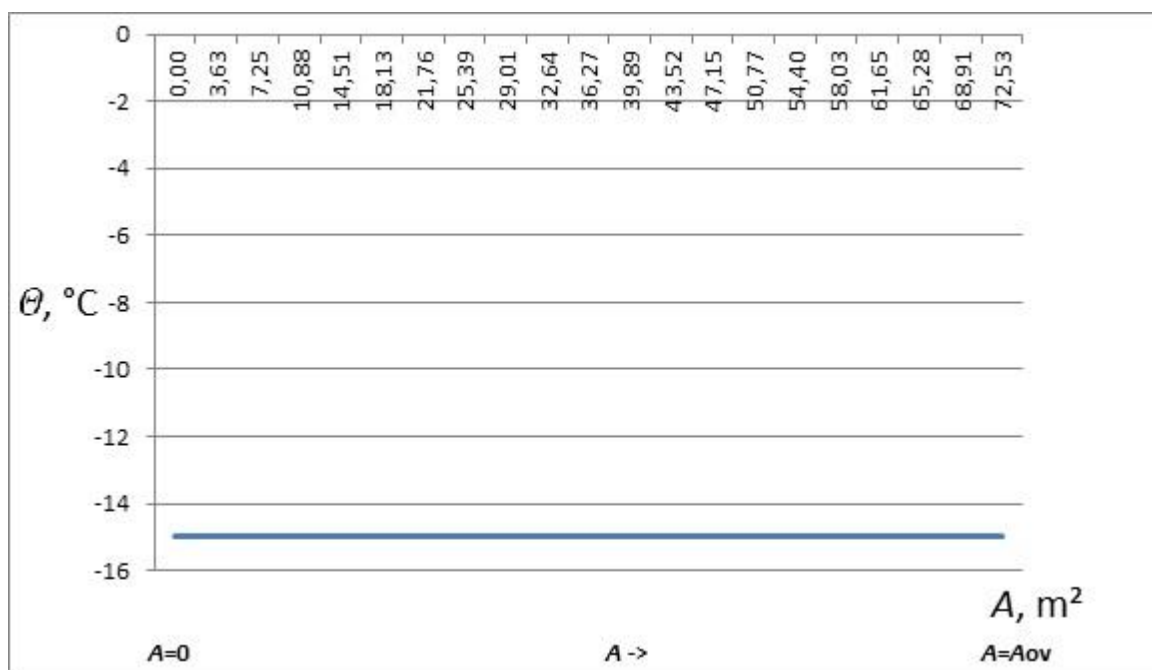
4.4. Prikaz rasporeda temperatura radne tvari, zraka kao slabije struje i toplinskih tokova u ovisnosti o lokalnoj površini isparivača

Korištene jednačbe:

- $\Pi_2 = \frac{k_v \cdot A_v}{C_1}$
- $\Pi_1 = 1 - e^{-\Pi_2}$
- $\Delta \theta_1 = \Pi_1 (\theta_1' - \theta_{is})$
- $\Phi = C_1 \cdot \Delta \theta_1$

4.4.1. Radna tvar

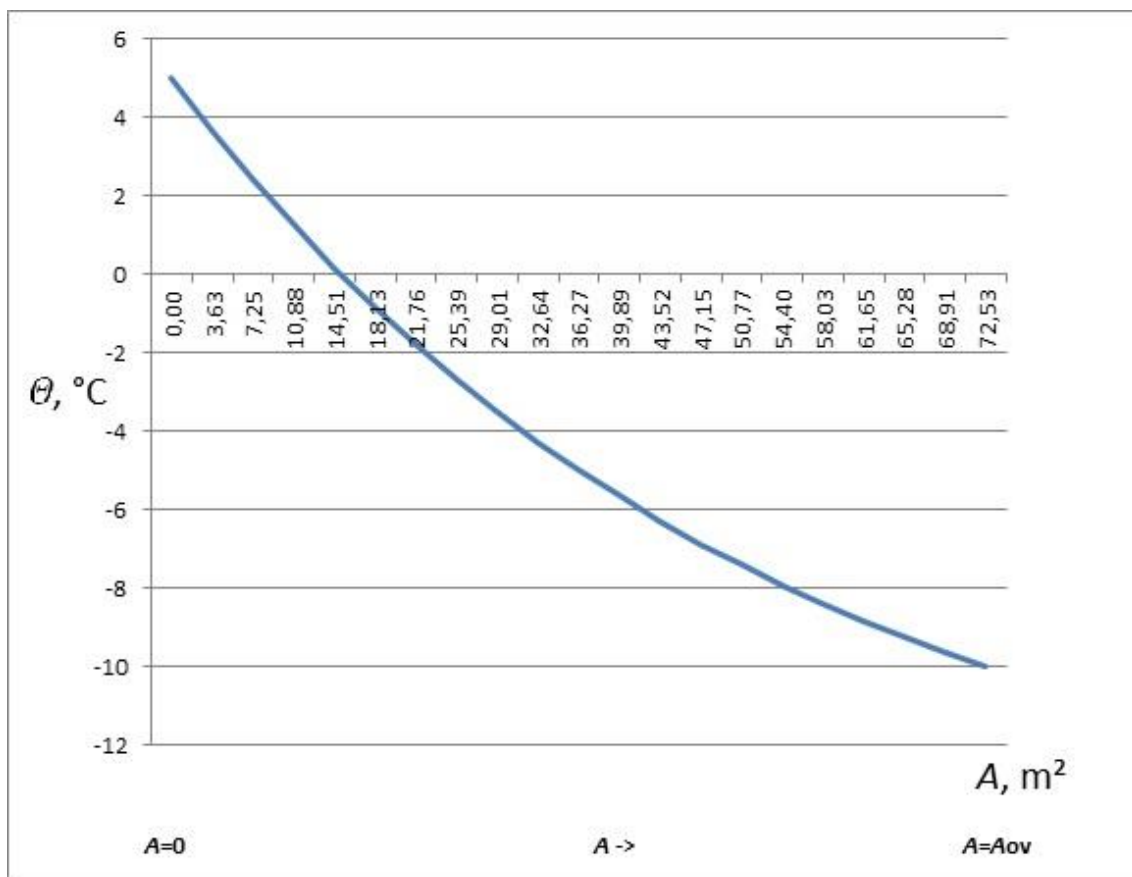
Ovisnost temperature radne tvari o lokalnoj površini isparivača pokazuje slika 13.



Slika 13. Ovisnost temperature radne tvari o lokalnoj površini isparivača

4.4.2. Ogrjevni medij (zrak)

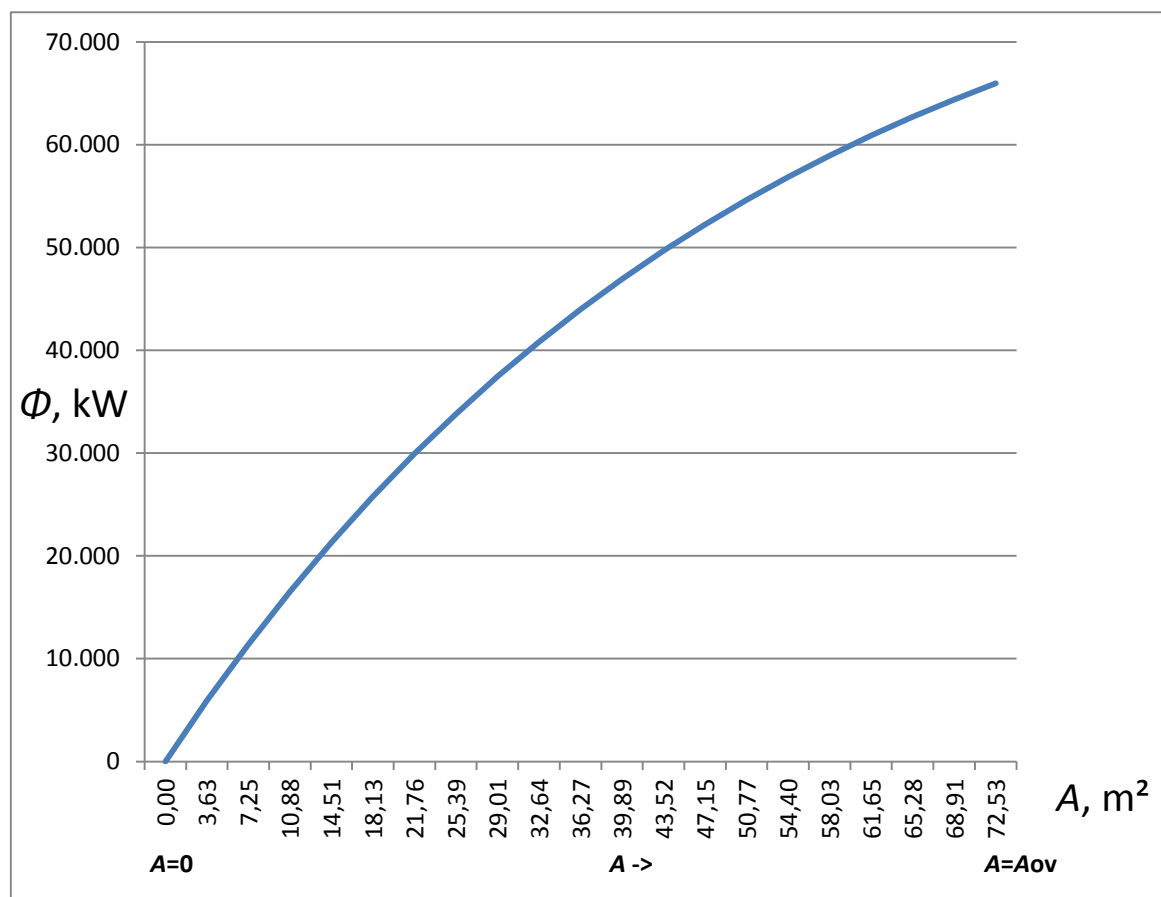
Ovisnost temperature zraka o lokalnoj površini isparivača prikazuje slika 14.



Slika 14. Ovisnost temperature zraka o lokalnoj površini isparivača

4.4.3. Ovisnost toplinskog toka o lokalnoj površini isparivača

Dijagram na slici 15. prikazuje ovisnost toplinskog toka o lokalnoj površini isparivača



Slika 15. Ovisnost toplinskog toka o lokalnoj površini isparivača

5. VODA KAO TOPLINSKI IZVOR ZA DIZALICU TOPLINE

Ulazni podaci :

- $\theta_w = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\theta_{is} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\theta_{ko} = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Delta\theta_{pot} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Delta\theta_{pr} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$

5.1. Karakteristične točke radne tvari u procesu i određivanje potrebne snage kompresora

Točka 1 :

$$\theta_1 = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p_1 = 2,9280\text{ bar}$$

$$v_1 = 0,0711\text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_1 = 403,07\text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = 1,743\text{ kJ}/(\text{kgK})$$

Točka 2 :

$$\theta_2 = 65,258\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p_2 = 14,9151\text{ bar}$$

$$v_2 = 0,014294\text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_2 = 437,93\text{ kJ/kg}$$

$$s_2 = 1,7433\text{ kJ}/(\text{kgK})$$

Točka 5 :

$$\theta_5 = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p_5 = 14,9151 \text{ bar}$$

$$v_5 = 0,000906 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_5 = 271,55 \text{ kJ/kg}$$

$$s_5 = 1,2367 \text{ kJ/(kgK)}$$

Točka 6 :

$$\Phi_{5-6} = \dot{H}_6 - \dot{H}_5 + P_{5-6}$$

$$\dot{H}_6 = \dot{H}_5 / : q_m$$

$$h_6 = h_5 = 271,55 \text{ kJ/kg}$$

$$\theta_6 = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p_6 = 2,9280 \text{ bar}$$

$$h_6 = h' + x_6 (h'' - h')$$

$$x_6 = \frac{h_6 - h'}{h'' - h'}$$

$$h' = 180,14 \text{ kJ/kg}$$

$$h'' = 389,63 \text{ kJ/kg}$$

$$x_6 = \frac{271,55 - 180,14}{389,63 - 180,14}$$

$$x_6 = 0,4363$$

$$v_6 = v' + x_6 (v'' - v')$$

$$v' = 0,0007447 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v'' = 0,12067 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_6 = 0,0007447 + 0,4363(0,12067 - 0,0007447)$$

$$v_6 = 0,0531 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$s_6 = s' + x_6 (s'' - s')$$

$$s' = 1 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$s'' = 1,7271 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$s_6 = 1 + 0,36(1,7271 - 1)$$

$$s_6 = 1,262 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

Točka 2*

$$\Phi_{2-5} = q_m (h_2 - h_5)$$

$$q_m = \frac{\Phi_{2-5}}{h_2 - h_5} = \frac{\Phi_{gr}}{h_2 - h_5}$$

$$q_m = \frac{100}{437,9262 - 271,55}$$

$$q_m = 0,601 \text{ kg/s}$$

$$P_{1-2} = q_m (h_2 - h_1)$$

$$P_{1-2} = 0,6010475 (437,9262 - 403,07)$$

$$P_{1-2} = 20,95 \text{ kW}$$

- Da bi se odredilo snagu kompresora, pretpostavljen je izentropski stupanj djelovanja ($\eta_{iz} = 0,85$)

$$\eta_{iz} = \frac{P_{1-2}}{P_{1-2}^*}$$

$$P_{1-2}^* = \frac{P_{1-2}}{\eta_{iz}}$$

$$P_{1-2}^* = \frac{20,95}{0,85}$$

$$P_{1-2}^* = P_k = 24,647 \text{ kW}$$

$$\Phi_{2^*-5} = q_m^* (h_{2^*} - h_5)$$

$$P_{1-2^*} = q_m^* (h_{2^*} - h_1)$$

Kombinacijom prethodnih jednadžbi slijedi :

$$h_{2^*} = \frac{\Phi_{2^*-5} \cdot h_1 - P_{1-2^*} \cdot h_5}{\Phi_{2^*-5} - P_{1-2^*}}$$

$$h_{2^*} = \frac{100 \cdot 403,07 - 24,647 \cdot 271,55}{100 - 24,647}$$

$$h_{2^*} = 446,088 \text{ kJ/kg}$$

$$q_m^* = \frac{\Phi_{2^*-5}}{h_{2^*} - h_5}$$

$$q_m^* = \frac{100}{446,088 - 271,55}$$

$$q_m^* = 0,573 \text{ kg/s}$$

$$p_{2^*} = 14,9151 \text{ bar}$$

$$\theta_{2^*} = 72,204 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$v_{2^*} = 0,014989 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$s_{2^*} = 1,7672 \text{ kJ/kg}$$

5.2. Faktor grijanja

$$\beta_H = \frac{\Phi_{gr}}{P_{1-2^*}}$$

$$\beta_H = \frac{100}{24,647}$$

$$\beta_H = 4,05$$

5.3. Određivanje potrebne površine isparivača kod njegovog vertikalnog smještaja

5.3.1. Određivanje koeficijenta prijelaza topline na strani vode

$$\Theta_s = \Theta_{is} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- površinska temperatura cijevi

$$\Theta_o = \Theta_w = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

- temperatura vode podalje od stijenke

$$Gr = \frac{\rho_o - \rho_s}{\rho_s} \cdot \frac{g \cdot H^3}{\nu_s^2}$$

- Sva fizikalna svojstva vode, kako za temperaturu Θ_s , tako i za temperaturu Θ_o očitana su za tlak od 1 bar

$$\rho_o = 999,70 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_s = 999,84 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_s = 1791,53 \cdot 10^{-6} \text{ Pa s}$$

$$\nu_s = \frac{\mu_s}{\rho_s}$$

$$\nu_s = \frac{1791,53 \cdot 10^{-6}}{999,84}$$

$$\nu_s = 1,792 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

- Isparivačke cijevi visine 1m su uronjene vertikalno u vodu

$$Gr = \frac{999,70 - 999,84}{999,84} \cdot \frac{9,81 \cdot 1^3}{(1,791816691 \cdot 10^{-6})^2}$$

$$H = 1 \text{ m}$$

$$Gr = 427838024,4$$

$$P_r = \frac{\eta \cdot c_p}{\lambda}$$

$$\theta_m = \frac{\theta_s + \theta_o}{2}$$

$$\theta_m = \frac{0 + 10}{2}$$

$$\theta_m = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Fizikalna svojstva vode očitana su za srednju temperaturu između temperature stijenke cijevi i temperature vode podalje od stijenke, pri tlaku od 1 bar

$$\eta = 1518,13 \cdot 10^{-6} \text{ Pa s}$$

$$c_p = 4,2050 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$\lambda = 0,57057 \text{ W/(m K)}$$

$$P_r = \frac{1518,13 \cdot 10^{-6} \cdot 4,2050 \cdot 10^3}{0,57057}$$

$$P_r = 11,1883$$

$$G_r \cdot P_r = 427838024,4 \cdot 11,1883$$

$$G_r \cdot P_r = 4786780168 > 10^8 \quad \text{-turbulentno strujanje}$$

$$Nu = 0,17 \cdot \sqrt[3]{G_r \cdot P_r}$$

$$Nu = 0,17 \cdot \sqrt[3]{4786780168}$$

$$Nu = 286,5036$$

$$Nu = \frac{\alpha_w \cdot H}{\lambda_w}$$

$$\alpha_w = \frac{N_u \cdot \lambda_w}{H}$$

$$\alpha_w = \frac{286,5036 \cdot 0,57057}{1}$$

$$\alpha_w = 163,47 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

$$k_v = \frac{1}{\frac{R_v}{R_u \cdot \alpha_{rt}} + \frac{R_v}{\lambda_c} \cdot \ln \frac{R_v}{R_u} + \frac{1}{\alpha_w}}$$

$$\frac{R_v}{R_u \cdot \alpha_{rt}} \approx 0$$

- S obzirom da je koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari znatno veći od onog na strani vode, prilikom izračuna koeficijenta prolaza topline zanemaren je otpor prijelazu topline s unutanje strane cijevi, tj na strani radne tvari

$$k_v = \frac{1}{\frac{R_v}{\lambda_c} \cdot \ln \frac{R_v}{R_u} + \frac{1}{\alpha_w}}$$

Odabrane cijevi:

$$C_u \phi 20 \times 1$$

$$R_v = 10 \text{ mm}$$

$$R_u = 9 \text{ mm}$$

$$\lambda_c = 372 \text{ W/(m K)}$$

$$k_v = \frac{1}{\frac{10 \cdot 10^{-3}}{372} \cdot \ln \frac{10}{9} + \frac{1}{163,47}}$$

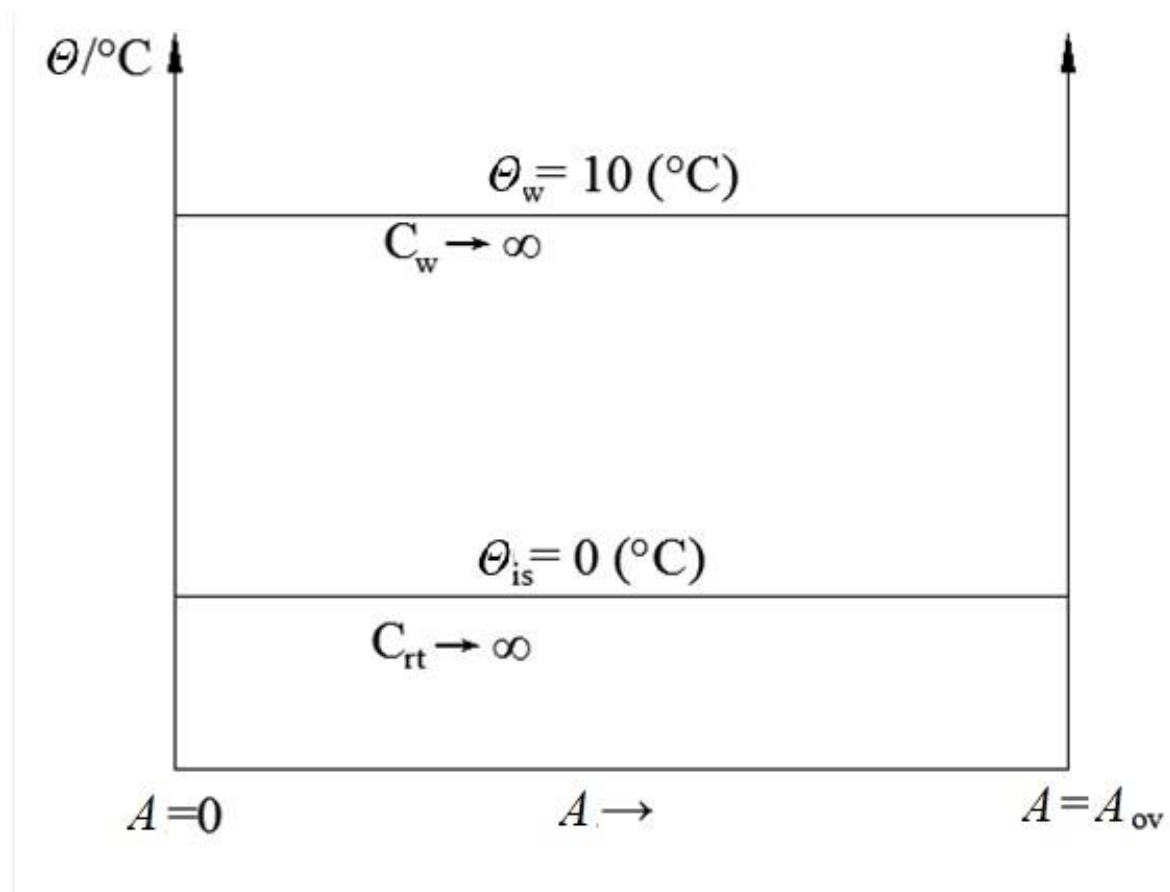
$$k_v = 163,39 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

$$\Phi_{6-1} = q_m^* (h_1 - h_6)$$

$$\Phi_{6-1} = 0,572941 (403,07 - 271,55)$$

$$\Phi_{6-1} = 75,35 \text{ kW}$$

Tijek temperature vode i R134a u ovisnosti o površini isparivača prikazuje slika 16.



Slika 16. Prikaz temperaturne promjene struja u ovisnosti o površini isparivača

$$\Phi_{6-1} = k_v (\Theta_w - \Theta_{is}) \cdot A_{ov}$$

$$A_{ov} = \frac{\Phi_{6-1}}{k_v (\Theta_w - \Theta_{is})}$$

$$A_{ov} = \frac{75,353 \cdot 10^3}{163,394 (10 - 0)}$$

$$A_{ov} = 46,12 \text{ m}^2$$

5.4. Određivanje potrebne površine isparivača kod njegovog horizontalnog smještaja

5.4.1. Određivanje koeficijenta prijelaza topline na strani vode

$$\Theta_s = \Theta_{is} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad - \text{površinska temperatura cijevi}$$

$$\Theta_o = \Theta_w = 10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad - \text{temperatura vode podalje od stijenke}$$

$$Gr = \frac{\rho_o - \rho_s}{\rho_s} \cdot \frac{g \cdot d_v^3}{\nu_s^2}$$

- Sva fizikalna svojstva vode, kako za temperaturu Θ_s , tako i za temperaturu Θ_o očitana su za tlak od 1 bar

$$\rho_o = 999,70 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_s = 999,84 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_s = 1791,53 \cdot 10^{-6} \text{ Pa s}$$

$$\nu_s = \frac{\mu_s}{\rho_s}$$

$$\nu_s = \frac{1791,53 \cdot 10^{-6}}{999,84}$$

$$\nu_s = 1,7918 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Gr = \frac{999,70 - 999,84}{999,84} \cdot \frac{9,81 \cdot (20 \cdot 10^{-3})^3}{(1,791816691 \cdot 10^{-6})^2}$$

Odabrane cijevi:

$$C_u \phi 20 \times 1$$

$$d_v = 20 \text{ mm}$$

$$Gr = 3422,70$$

$$P_r = \frac{\eta \cdot c_p}{\lambda}$$

$$\theta_m = \frac{\theta_s + \theta_o}{2}$$

$$\theta_m = \frac{0 + 10}{2}$$

$$\theta_m = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Fizikalna svojstva vode očitana su za srednju temperaturu između temperature stijenke cijevi i temperature vode podalje od stijenke, pri tlaku od 1 bar

$$\eta = 1518,13 \cdot 10^{-6} \text{ Pa s}$$

$$c_p = 4,2050 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$\lambda = 0,57057 \text{ W/(m K)}$$

$$P_r = \frac{1518,13 \cdot 10^{-6} \cdot 4,2050 \cdot 10^3}{0,57057}$$

$$P_r = 11,1883$$

$$G_r \cdot P_r = 3422,70 \cdot 11,1883$$

$$G_r \cdot P_r = 38294,19441 > 1000$$

$$N_u = 0,41 \cdot \sqrt[4]{G_r \cdot P_r}$$

$$N_u = 0,41 \cdot \sqrt[4]{38294,241}$$

$$N_u = 5,7354$$

$$Nu = \frac{\alpha_w \cdot d_v}{\lambda_w}$$

$$\alpha_w = \frac{Nu \cdot \lambda_w}{d_v}$$

$$\alpha_w = \frac{5,7354 \cdot 0,57057}{20 \cdot 10^{-3}}$$

$$\alpha_w = 163,62 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

$$k_v = \frac{1}{\frac{R_v}{R_u \cdot \alpha_{rt}} + \frac{R_v}{\lambda_c} \cdot \ln \frac{R_v}{R_u} + \frac{1}{\alpha_w}}$$

$$\frac{R_v}{R_u \cdot \alpha_{rt}} \approx 0$$

- S obzirom da je koeficijent prijelaza topline na strani radne tvari znatno veći od onog na strani vode, prilikom izračuna koeficijenta prolaza topline zanemaren je otpor prijelazu topline s unutanje strane cijevi, tj na strani radne tvari

$$k_v = \frac{1}{\frac{R_v}{\lambda_c} \cdot \ln \frac{R_v}{R_u} + \frac{1}{\alpha_w}}$$

Odabrane cijevi:

$$C_u \phi 20 \times 1$$

$$R_v = 10 \text{ mm}$$

$$R_u = 9 \text{ mm}$$

$$\lambda_c = 372 \text{ W/(m K)}$$

$$k_v = \frac{1}{\frac{10 \cdot 10^{-3}}{372} \cdot \ln \frac{10}{9} + \frac{1}{163,62}}$$

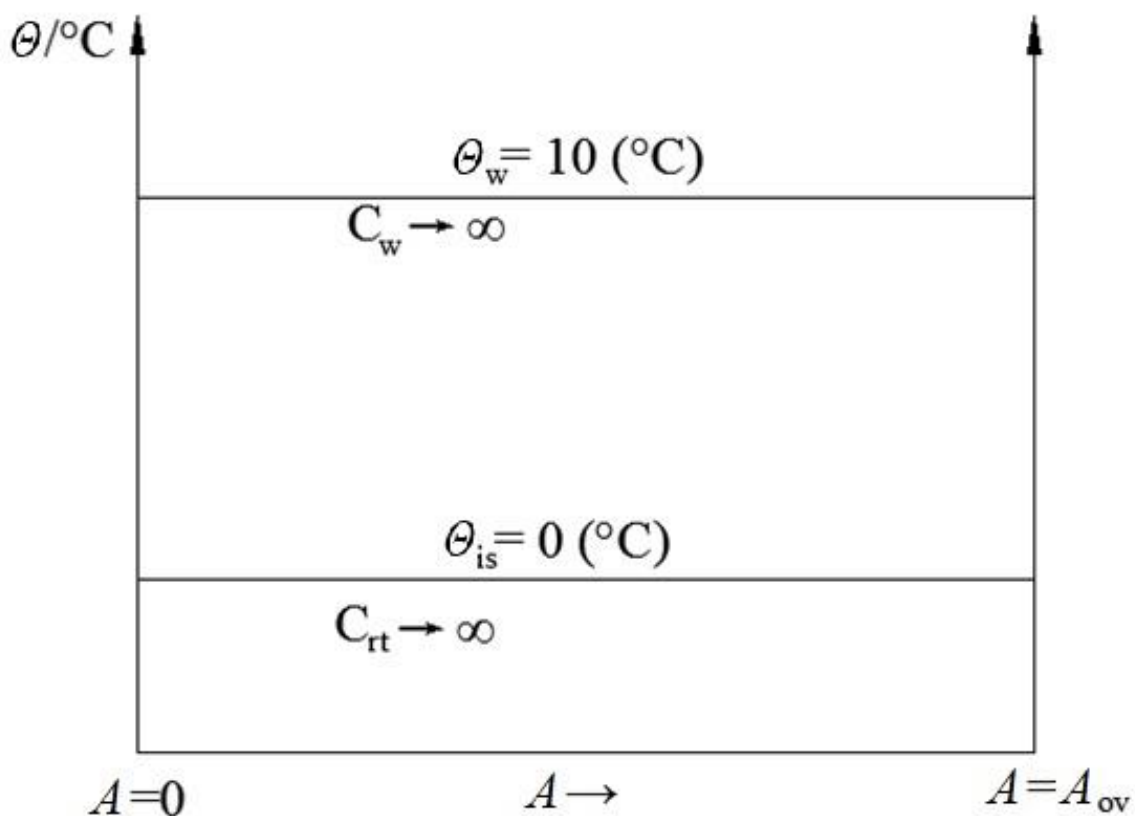
$$k_v = 163,54 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

$$\Phi_{6-1} = q_m^* (h_1 - h_6)$$

$$\Phi_{6-1} = 0,572941 (403,07 - 271,55)$$

$$\Phi_{6-1} = 75,35 \text{ kW}$$

Tijek temperature vode i R134a u ovisnosti o površini isparivača prikazuje slika 17.



Slika 17. Prikaz temperaturne promjene struja u ovisnosti o površini isparivača

$$\Phi_{6-1} = k_v (\theta_w - \theta_{is}) \cdot A_{ov}$$

$$A_{ov} = \frac{\Phi_{6-1}}{k_v(\theta_w - \theta_{is})}$$

$$A_{ov} = \frac{75,353 \cdot 10^3}{163,5442 (10 - 0)}$$

$$A_{ov} = 46,075 \text{ m}^2$$

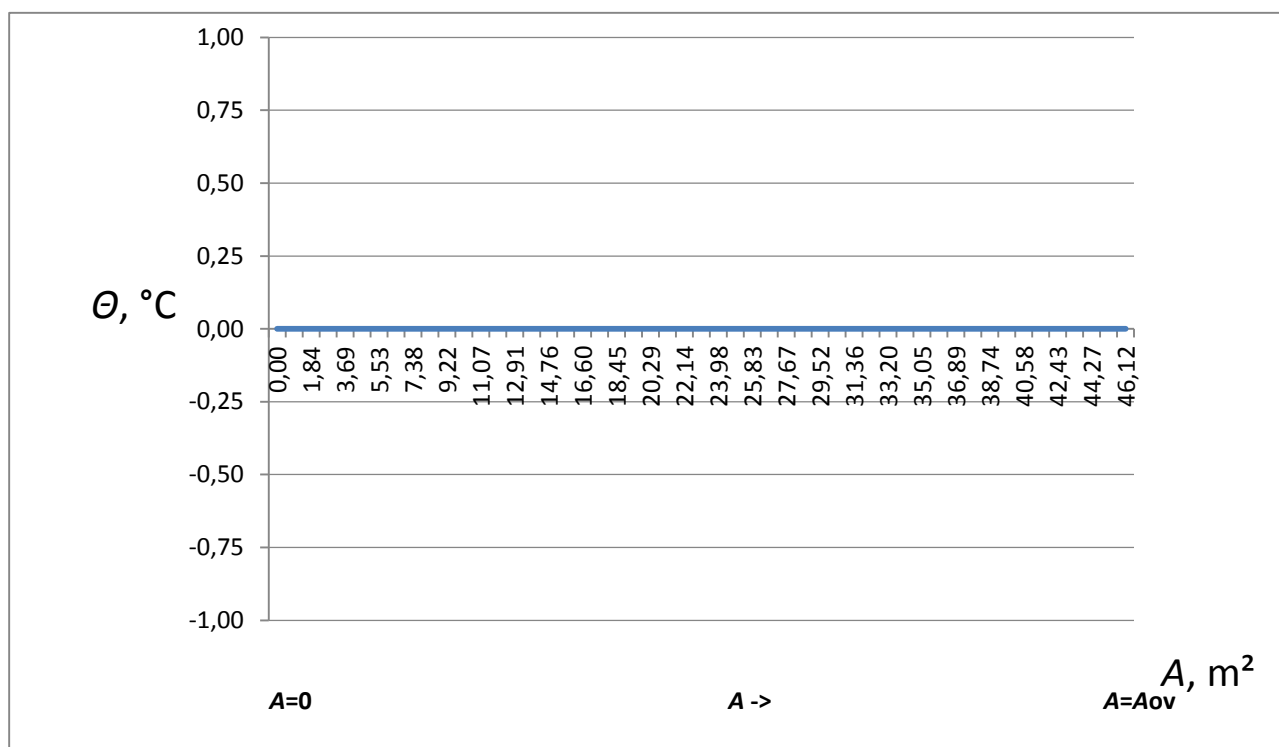
5.5. Prikaz rasporeda temperatura radne tvari i toplinskih tokova u ovisnosti o lokalnoj površini isparivača

Korištena jednačina:

- $\Phi = k_v (\theta_w - \theta_{ts}) A_v$

5.5.1. Radna tvar

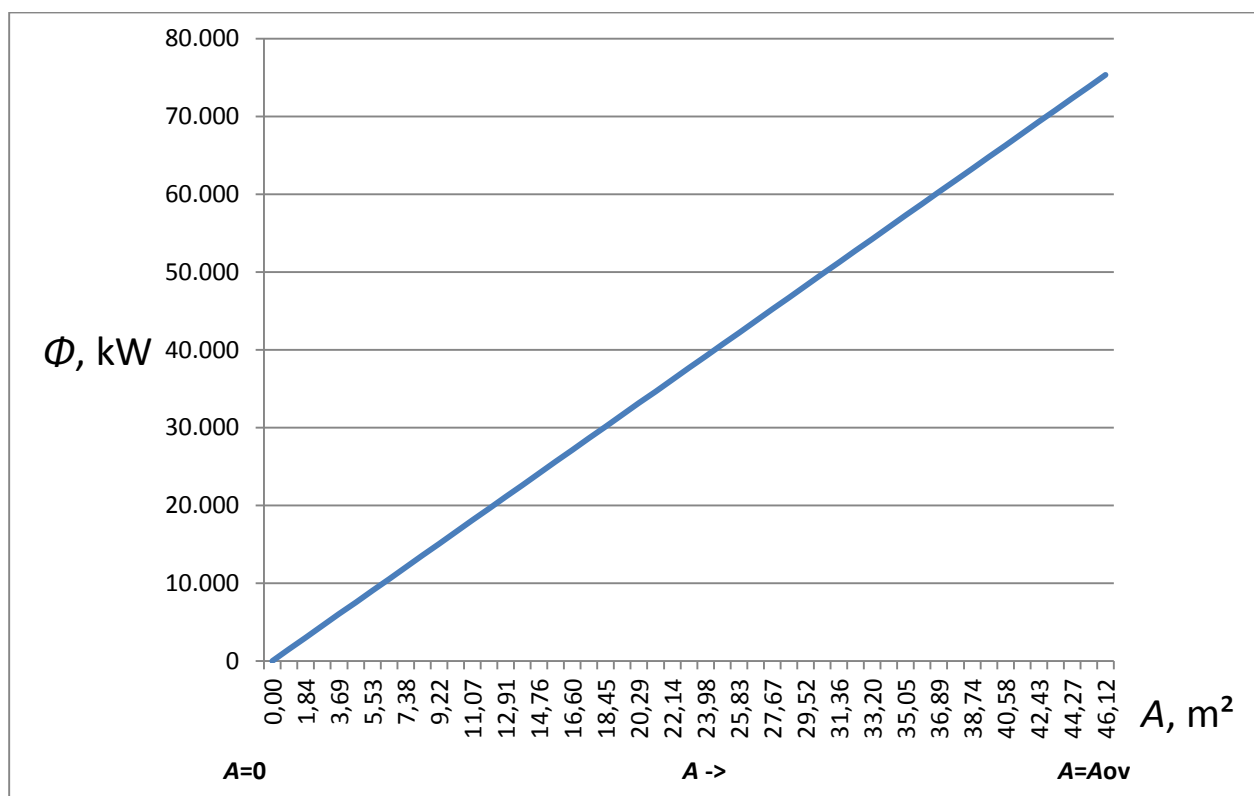
Ovisnost temperature radne tvari o lokalnoj površini isparivača prikazuje dijagram na slici 18.



Slika 18. Ovisnost temperature radne tvari o lokalnoj površini isparivača

5.5.2. Ovisnost toplinskog toka o lokalnoj površini isparivača

Dijagram na slici 19. prikazuje ovisnost toplinskog toka o lokalnoj površini isparivača



Slika 19. Ovisnost toplinskog toka o lokalnoj površini isparivača

6. ZAKLJUČAK

Analizom dobivenih podataka možemo zaključiti sljedeće :

- Faktor grijanja je veći u slučaju višeg tlaka isparavanja, odnosno više temperature isparavanja, što je slučaj smještaja isparivača u vodi konstantne temperature. Razlog tomu je taj što kompresor za isti ogrjeveni učin mora svladati manju razliku tlaka.
- Potrebna isparivačka površina je manja kada je isparivač smješten u vodi konstantne temperature u odnosu na to kada se nalazi u okolišnjem zraku.

To je zbog toga što je koeficijent prijelaza topline na strani vode znatno veći od onog na strani zraka. Drugim riječima možemo reći da se povećanjem koeficijenta prijelaza topline intenzivira izmjena topline, pa je za isti izmjenjeni toplinski tok potrebna manja izmjenjivačka površina.

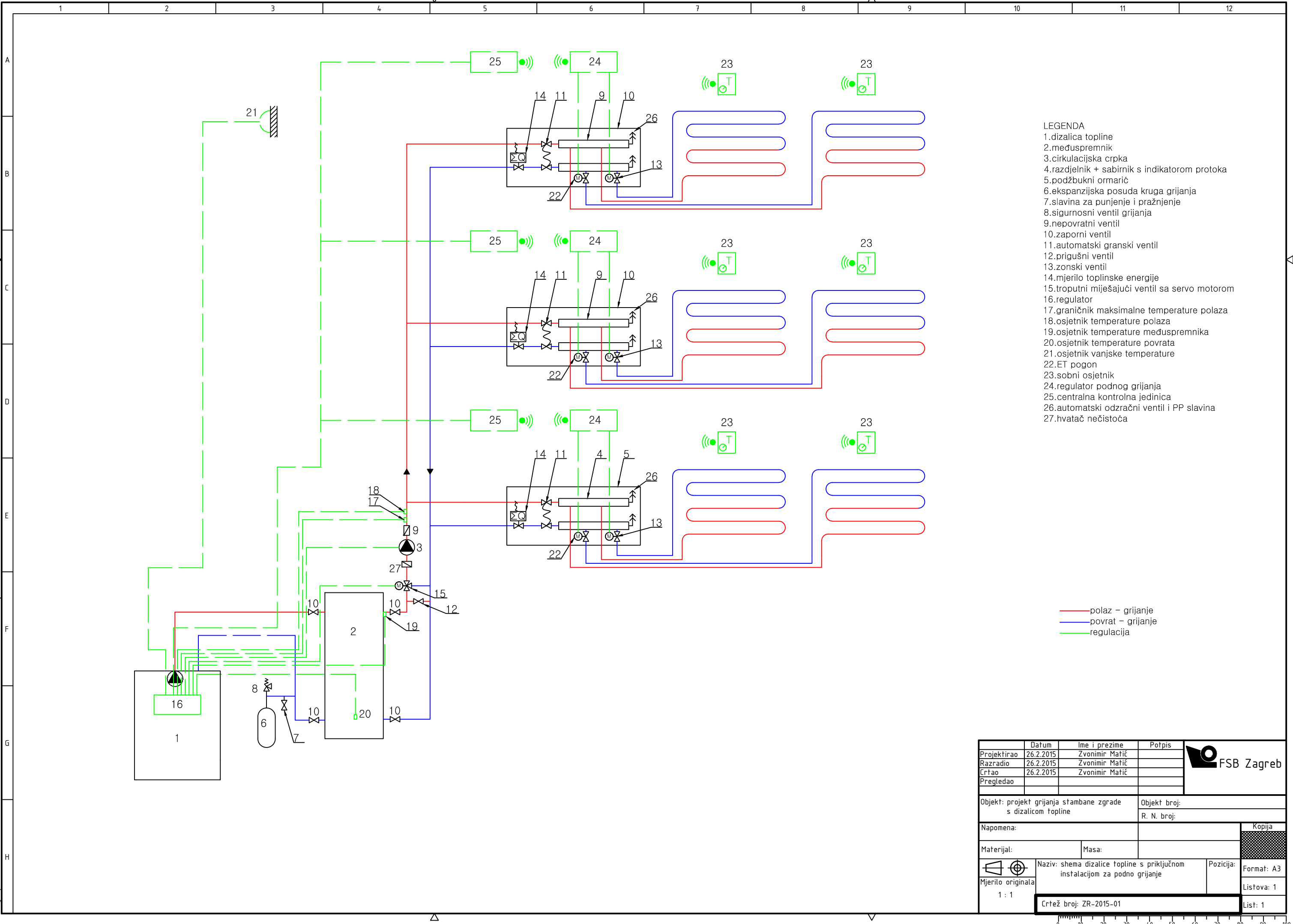
- Smještaj isparivača, horizontalni ili vertikalni, zanemarivo utječe na izmjenu topline, tj ne postoji primjetna razlika u dobivenim rezultatima (isparivačka površina i koeficijent prijelaza topline) za jedan i drugi smještaj isparivača.

LITERATURA

- [1] A. Galović, Termodinamika 1, Zagreb, 2008.
- [2] Majdandžić Lj. : „Obnovljivi izvori energije“ Zagreb, 2008
- [3] Soldo V. : Priručnik za energetska certificiranje zgrada, Zagreb, 2010.
- [4] I. Balen, Grijanje, Zagreb, 2008.
- [5] Soldo V , Ćurko T. : Podloge za predavanje kolegij „Hlađenje i dizalice topline“, Zagreb, 2012
- [6] T. Ćurko, Hlađenje i dizalice topline, Radni udžbenik, Zagreb, 2010.
- [7] http://www.klima-celje.si/artikli/pdfs/art_2_all.pdf
- [8] <https://www.bitzer.de/websoftware/Calculate.aspx?cid=1421670587883&mod=WV>
- [9] B. Halasz, A. Galović, I. Boras: Toplinske tablice4

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	26.2.2015	Zvonimir Matić		
Razradio	26.2.2015	Zvonimir Matić		
Crtao	26.2.2015	Zvonimir Matić		
Pregledao				
Objekt: projekt grijanja stambane zgrade s dizalicom topline			Objekt broj:	
			R. N. broj:	
Napomena:			Kopija	
Materijal:			Masa:	
Naziv: shema dizalice topline s priključnom instalacijom za podno grijanje			Pozicija:	Format: A3
Mjerilo originala 1 : 1				Listova: 1
Crtež broj: ZR-2015-01				List: 1

